

Буркин С.П.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, spb@mtf.ustu.ru

High-speed continuous drawing on drawing mills Requirements for quality billet, portages, lubrication, balancing of drums. Real opportunity to further enhance the productivity of the mill can be achieved with multi-line. Presented a radically new design drawing mill, problem solving performance. Main features of the new drawing machine is to use a counter-axial movement of the wire and the drawing die. The machine can be both single-and multi-line. In the latter case it is easily combined with twinning machine.

Keywords: wire, drawing, multi-line drawing, countertension.

Внедрение высокоскоростного волочения в настоящее время наталкивается на значительные трудности, связанные с необходимостью повышения качества изготовления оборудования, с трудностями решения проблемы размотки проволоочной заготовки, непрерывного съема и устранения последствий обрывов проволоки. Необходимо повышать точность изготовления отдельных деталей и точность сборки, что приводит к существенному удорожанию волочильных машин. Кроме того, увеличение скорости вращения барабанов и других подвижных частей конструкции резко ухудшает динамические характеристики машин и приводит порой к непреодолимым трудностям в построении систем автоматического управления. Высокая скорость движения проволоки на скоростных волочильных станах значительно повышает время простоя оборудования при обрывах проволоки, которые имеют место при любых видах волочения и от которых невозможно полностью избавиться без ощутимого снижения производительности проволоочного производства. Высокоскоростное волочение на грубосреднем переделе становится малоэффективным из-за сложности или даже невозможности осуществлять съем проволоки в процессе волочения.

В лаборатории кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ проведена разработка новой конструкции высокопроизводительной волочильной машины для грубосреднего волочения проволоки из низкоуглеродистых сталей и цветных металлов и сплавов, которая частично или полностью устраняет указанные трудности промышленного применения высокоскоростного волочения.

Конструкция машины предполагает использование устройств скоростной размотки проволоочной заготовки из бунтов, разработанных и изготовленных в лаборатории кафедры и защищенных несколькими авторскими свидетельствами.

Основной конструктивной предпосылкой к созданию новой волочильной машины является использование встречного осевого движения проволоки и волоки. Сумма абсолютных значений скоростей проволоки и волоки представляет собой

собственно скорость волочения, которая может быть определена при многопроходном процессе по формуле

$$U_{vi} = U_{i-1} + U_{0i} \lambda_i,$$

где U_{vi} – скорость волочения в i -м проходе;

U_{i-1} – абсолютное значение осевой скорости проволоки после $(i-1)$ прохода;

U_{0i} – абсолютное значение осевой скорости волоки в i -м проходе;

λ_i – вытяжка в i -м проходе.

Принцип конструктивного исполнения новой волочильной машины иллюстрируется рис. 1 и 2.

На оси 1 установлен неподвижный намоточный барабан 2. В качестве рабочего инструмента использованы волоки 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4, закрепленные на вращающихся приводных опорах 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4. После каждой опоры по ходу движения проволоки установлены приводные промежуточные волочильные барабаны 5.1, 5.2, 5.3 и приводной чистовой барабан 5.4. Все волочильные барабаны установлены

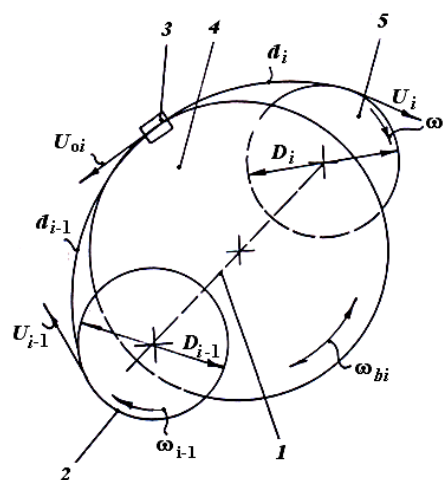


Рис. 1. Схема к расчету скорости волочения в i -м проходе

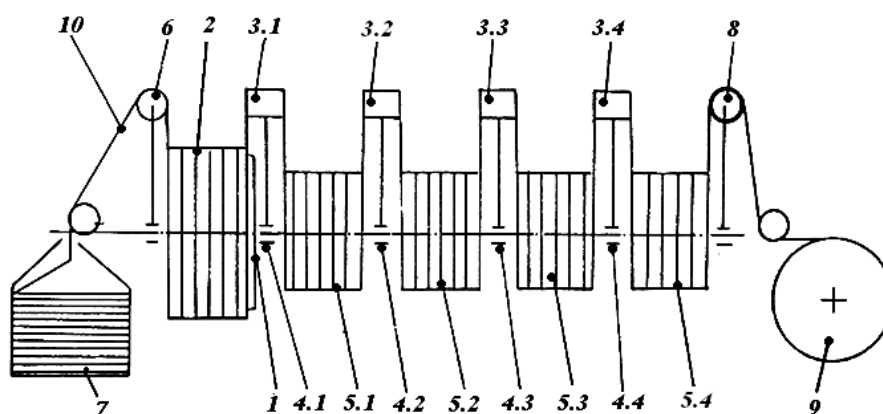


Рис. 2. Условная кинематическая схема четырехкратной волочильной машины

соосно с приводными опорами. Перед намоточным неподвижным барабаном на общей оси с ним установлено приводное намоточное устройство 6 и контейнер 7 с исходной проволоочной заготовкой. После чистового барабана соосно с ним смонтировано приводное размоточное устройство 8 и приводное приемное устройство 9 для накопления протянутой проволоки 10.

Волочильная машина работает следующим образом. Проволока 10 из контейнера 7 с помощью намоточного устройства 6 подается на неподвижный барабан 2, наружная поверхность которого выполнена слабоконической, и ее витки перемещаются вдоль оси барабана под действием усилия намотки. Затем передний конец проволоки пропускается через первую волоку 3.1 и наматывается на промежуточный барабан 5.1; вслед за этим – через вторую волоку 3.2 и на барабан 5.2 и т.д. После намотки на чистовой барабан проволока пропускается через ролики размоточного устройства 8 и ее передний конец закрепляется на катушке приемного устройства 9. Далее производится одновременное включение привода всех барабанов, опор с волоками, намоточного размоточного и приемного устройств.

Для согласованной работы волочильной машины требуется синхронизация скоростей вращения опор волок. Скорости промежуточных и чистового барабанов противоположны по направлению скорости вращения опор волок и по абсолютной величине определяются режимами обжаты, диаметром барабана и величиной скольжения проволоки на поверхности барабана (если оно предусмотрено). Угловая скорость намоточного устройства 6 должна равняться угловой скорости опор волок. Приемное устройство 9 должно обеспечить заданную окружную скорость, определяемую суммарной вытяжкой волочильной машины. Размоточное устройство 8 вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости опор волок. Если волочильная машина предназначена для работы со скольжением, то скорость промежуточных барабанов должна быть увеличена в соответствии с выбранными величинами скольжения.

При проектировании волочильной машины полезно знать, что расстояние от оси волокна до оси

вращения опоры не оказывает влияния на выбор угловой скорости опоры волокна. Это положение относится и к определению режимов работы намоточного 6 и размоточного 8 устройств.

При разработке конструкций высокоскоростных волочильных машин, реализующих описанный способ волочения, возникают затруднения с проектированием скоростных приемных устройств 9, осуществляющих непрерывный съем проволоки с чистового барабана. В этом случае целесообразно отказаться от установки приемных устройств и, увеличив диаметр чистового барабана 5.4 в λ_{Σ} раз

(где λ_{Σ} – суммарная вытяжка проволоки на волочильной машине) по сравнению с диаметром неподвижного барабана 2, осуществлять съем проволоки с неподвижного в этом случае чистового барабана. Для волочильных машин, работающих со скольжением проволоки на барабанах, суммарная вытяжка является параметром, фиксированным на постоянном уровне.

При изменении диаметров барабанов можно добиться различных распределений угловых скоростей этих барабанов. Например, диаметры барабанов могут быть подобраны таким образом, что угловые скорости всех промежуточных и чистового барабанов будут совпадать; если же диаметры соседних барабанов связаны соотношением $D_i = D_{i-1} \lambda_i$, то все барабаны волочильной машины будут неподвижны в процессе волочения.

Представляемая волочильная высокоскоростная машина позволяет осуществлять процесс многониточного волочения. С этой целью на опорах волок по одной окружности устанавливается несколько волок, обеспечивающих приблизительно равную натяжку для каждой нитки. На выходе устанавливается соответствующее количество контейнеров с проволокой 7 и направляющих роликов на намоточном устройстве 6. На выходе волочильной машины используется соответствующее количество приемных катушек 9 или прядеобразующее устройство. При многониточном волочении

машина должна работать со скольжением проволоки на барабанах.

В настоящее время конструкция волочильной машины разработана в нескольких вариантах: на базе группового привода с распределением вращательного движения от центрального приводного вала между приемными барабанами и блоками подвижных волок с помощью планетарных редукторов; на базе нестандартных электродвигателей; с использованием гидропривода всех волочильных барабанов.

Конструкция волочильной машины по первому варианту содержит четыре волочильных блока, установленных на одной оси. Ввод проволоки производится на первый барабан с помощью специального вводного устройства. Последний барабан также неподвижен и является составной частью устройства непрерывного свива проволоки.

Основные технические данные машины:

- количество проходов волочения – 4;
- суммарная вытяжка – 2;
- диаметр проволочной заготовки – 1,0...3,5 мм;
- величина скольжения проволоки на барабанах – 4...10 %;
- диаметр рабочих барабанов – 300 мм;
- скорость волочения в чистовом проходе – 60 м/с;
- максимальная окружная скорость подвижных частей – 30 м/с;
- мощность главного привода – 45 кВт;
- габаритные размеры – 2840х1620х850 мм;
- масса машины – 1600 кг;
- технологическая и машинная смазка – И20.

Конструкция волочильной машины предусматривает принудительную подачу смазки к узлам машины и к рабочему инструменту, а также систему водяного охлаждения масляного картера.

Спроектированная машина кроме дискретного регулирования противонапряжения (числом витков проволоки на волочильных барабанах) предусматривает его непрерывную регулировку путем изменения радиуса закрепления подвижных волок на волочильных блоках.

Разработанная в лаборатории кафедры ОМД УрФУ на уровне эскизного проекта четырехкратная волочильная машина с индивидуальным электроприводом нестандартного исполнения близка по конструктивному принципу к вышеописанной машине с приводом барабанов с помощью планетарных редукторов и предназначена для многониточного (1...4 нитки) волочения стальной низкоуглеродистой или медной проволоки.

Волочильные блоки унифицированы и взаимозаменяемы, что позволяет на базе одной станины комбинировать волочильные машины практически любой кратности.

Спроектированная четырехкратная машина также имеет суммарную вытяжку 2 и неподвижный чистовой барабан, исключая необходимость применения устройства непрерывного съема проволоки.

Спроектированный волочильный стан совместно с системой автоматического управления представляет машину принципиально нового типа, совмещающую в себе достоинства волочильных станов прямоточного типа и станов, работающих со скольжением. Индивидуальный привод барабанов позволяет адаптировать волочильную машину к любому маршруту обжатий, допустимому по технологическим условиям процесса волочения. В этом стан подобен прямоточным машинам. Однако достижение высоких скоростей волочения на прямоточных и петлевых станах затруднительно из-за чрезмерно жестких требований качества автоматического регулирования индивидуальных приводов. Особые трудности согласования скоростей барабанов возникают при производстве тонкой проволоки на машинах этой конструкции, когда роль проволоки как дополнительной связи, повышающей качество регулирования, ослабевает вместе с уменьшением механической прочности проволоки. Если же прямоточный стан в состоянии допустить проскальзывание проволоки относительно поверхности барабанов, то он приобретает совершенно новые качества, несвойственные ни машинам со скольжением, ни прямоточным машинам: во-первых, регулируемое в неограниченных пределах скольжение проволоки на барабанах; во-вторых, постоянная величина противонапряжения, на которую совершенно не влияет временное согласование скоростей в переходных режимах работы двигателей.

Указанные качества тесно взаимосвязаны и могут быть эффективно использованы лишь при правильной организации управления работой машины. Регулировать скольжение при устойчивом процессе волочения не требуется, тем более что существует определенный (оптимальный) уровень величины скольжения. Но если использовать скольжение на станах с целью стабилизации противонапряжения, то возникает необходимость его регулирования. В процессе заправки и запуска машины, а также при появлении внешних возмущений, достаточных для возникновения рассогласования скоростей, прямоточные станы дают существенное колебание значений противонапряжений во всех проходах стана. Если стан все же имеет скольжение, то последнее может быть выбрано достаточным для компенсации колебаний соотношения скоростей соседних барабанов.

Волочильная машина, снабженная системой управления, способна выполнять следующие технологические операции:

- осуществлять процесс волочения при любом режиме обжатий, допустимом по силовым условиям;
- проводить волочение при любой величине скольжения проволоки относительно барабанов, допустимой по скоростным условиям работы двигателей привода барабанов;
- использовать волочильную машину как прямоточную, то есть работать без скольжения;

- управлять режимом разгона стана по любому закону и при любой длительности переходного процесса;
- осуществлять процесс волочения при любой и постоянной величине противонапряжения;
- производить настройку стана заданием кодов скорости вводного устройства, соотношения скоростей барабанов и величины скольжений на намоточных барабанах.

Конструктивный вариант волочильной машины с индивидуальным электроприводом

Все известные волочильные машины можно подразделить на два типа:

- машины с подвижными рабочими барабанами и волоками, установленными на соосные с этими барабанами вращающиеся водила;
- машины с подвижными вращающимися рабочими барабанами и неподвижными относительно оси волочения волоками.

Из машин первого типа известна, например, [1] однократная волочильная машина, включающая в себя волоку, перемещающуюся вдоль оси проволоки. Машина имеет неподвижный барабан, водило с волокой и размоточное устройство в виде карусели с несколькими фигурками. Водило установлено соосно с барабаном, снабжено индивидуальным приводом и вместе с волокой исполняет роль поводкового устройства для укладки витков протянутой проволоки на барабан. Неподвижный барабан обеспечивает непрерывную работу волочильной машины, так как позволяет снимать с него проволоку и менять фигурки, не прекращая процесса волочения. Аналогичным образом

работают и другие волочильные машины этого типа. Недостатком конструкции этих машин является трудность создания высокоскоростных машин, поскольку повышение скорости волочения на них всегда связано с необходимостью увеличения окружной скорости водила и, следовательно, с необходимостью повышения точности изготовления всех основных деталей машины, с тщательной балансировкой вращающихся частей, с ужесточением режима смазки опор вращения, с совершенствованием конструкции крепления волок в водилах. Кроме того, волочильные машины такого типа всегда являются машинами однократного волочения, и реализация на них многократного непрерывного волочения принципиально невозможна.

Известны и широко применяются волочильные машины второго типа [2], имеющие один или несколько приводных вращающихся рабочих барабанов (соосных или с параллельными осями) и волоки, установленные в неподвижных относительно корпуса машины волокодержателях. К этому типу относятся многократные волочильные машины, работающие со скольжением и без скольжения, с противонапряжением (прямоточные и петлевые) и без противонапряжения (с накоплением проволоки на барабанах).

В машинах со скольжением устойчивость процесса волочения обеспечивается строгим соответствием скоростей волочения и вытяжки в каждом проходе, требуется практически безусловное выполнение закона секундных объемов

$$V_0 d_0^2 = V_1 d_1^2 = \dots = V_i d_i^2 = \dots = V_n, \quad (1)$$

где V_0 , V_1 , V_i и V_n – соответственно скорость размотки, скорости волочения на первой, i -й и последней волоках;

d_0 , d_1 , d_i и d_n – соответственно

диаметры проволоки.

Иногда условие (1) записывается в виде

$$V_0 = \frac{V_1}{\lambda_1} = \dots = \frac{V_i}{\lambda_i} = \dots = \frac{V_n}{\lambda_n},$$

где λ_i – вытяжка в i -м проходе;

λ_n – суммарная вытяжка.

В процессе волочения в связи с износом волок равенство (1) нарушается. Чтобы избежать преждевременного обрыва проволоки, маршрут волочения строится таким образом, чтобы окружная скорость рабочих барабанов на 2...4 % превышала скорость волочения. Поэтому противонапряжение на этих машинах является величиной случайной и колеблется в пределах от 0 до Q_i , вычисляемого по формуле Эйлера

$$Q_i = p_{i-1} e^{-2\pi m f},$$

где p_{i-1} – сила волочения на $(i-1)$ -й волоке;

f – коэффициент трения;

m – число витков проволоки на барабане.

Недостатком этой машины и всех машин второго типа также является трудность достижения высоких скоростей волочения без существенного ужесточения требований к точности изготовления всех узлов привода и самих рабочих барабанов. Скорость волочения на таких машинах равна или меньше окружной скорости волочильных барабанов, следовательно, повышение скорости волочения всегда связано с необходимостью повышения скорости вращения барабанов. Это, в свою очередь, затрудняет управление многократными волочильными машинами вследствие ухудшения динамических характеристик привода.

Кроме того, увеличение скорости волочения при отсутствии регулируемого противонапряжения ведет к сокращению стойкости волок, а следовательно, к повышению времени на замену волок и сокращению производительности.

Целью разработки новой волочильной машины является повышение производительности

за счет увеличения скорости волочения, достигаемого без увеличения окружных скоростей вращения рабочих барабанов или водил.

Сущность всех новых конструкций машин состоит в том, что между рабочими приводными барабанами соосно с ними установлены дисковые водила с волокодержателями, снабженные приводом вращения в направлении, противоположном направлению вращения рабочих барабанов.

Возможны два варианта привода волочильной машины:

- водила и рабочие барабаны имеют индивидуальные приводы;
- водила и рабочие барабаны объединены в волочильные блоки и в каждом блоке имеют общий привод.

На рис. 3 представлена конструкция многократной волочильной машины, рассматриваемая как первый вариант. Волочильная машина включает в себя следующие конструктивные элементы.

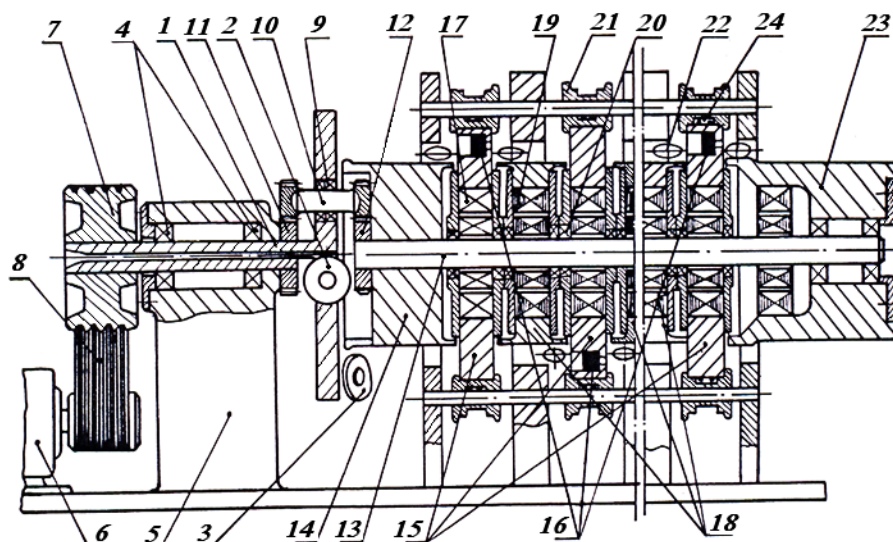


Рис. 3. Первый вариант волочильной машины с электроприводом

Устройство ввода проволоки, состоящее из полого вала с широким фланцем 1, на котором установлены отклоняющие ролики 2 и 3. Вал 1 установлен на опорах качения 4 и может вращаться относительно корпуса 5 под действием привода, включающего электродвигатель 6, ведомый шкив 7 и клиновые ремни 8. Во фланце вала 1 смонтирована опора качения 9 шестерни-сателлита 10 планетарного редуктора. Шестерня 10 находится в зацеплении с неподвижной шестерней 11, жестко закрепленной на корпусе 5, и шестерней 12, имеющей тот же диаметр, что и шестерня 11, жестко закрепленной на валу 13 и на приемном барабане 14. Неподвижный вал 13 является главным валом волочильной машины и на нем смонтированы все приводы работы барабанов и дисковых водил 15, в которых установлены волокодержатели с деформирующими волоками 16.

Дисковые водила 15 приводятся в движение электродвигателями 17, а рабочие барабаны 18 – от электродвигателя 19. Роторы этих электродвигателей жестко закреплены на валу 13, а статоры смонтированы соответственно в дисковые водила 15 и рабочие барабаны и центрируются по отношению к валу 13 подшипниками качения 20. Кроме того, для уменьшения динамических нагрузок на вал 13 дисковые водила поддерживаются опорными роликами 21. Для передачи проволоки с одного рабочего барабана на другой на дисковых водилах со стороны входа в волоку и со стороны выхода из нее установлены

направляющие ролики 22 таким образом, что ось проволоки, проходящая через пару роликов, совмещается с осью волоки. Волочильная машина может иметь неограниченное количество рабочих барабанов. Рабочий барабан 23 является чистовым и служит для накопления протянутой проволоки. Питание ко всем двигателям привода волочильной машины подводится через контактные кольца 24.

Модификацией данной машины может быть вариант с уменьшенным числом двигателей, приводящих во вращение рабочие барабаны и дисковые водила. Вариант волочильной машины, представленный на рис. 4, содержит вдвое меньше двигателей привода рабочих барабанов и дисковых водил.

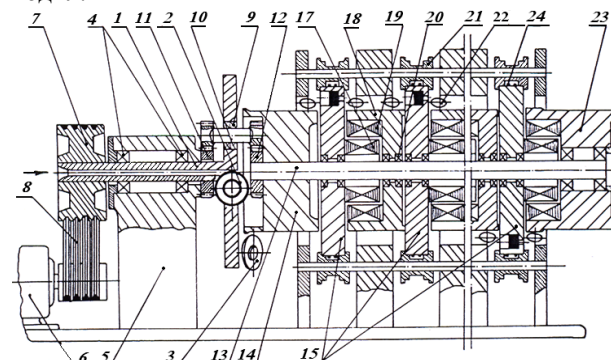


Рис. 4. Второй вариант волочильной машины с электроприводом

Принцип действия и технологические особенности этой волочильной машины остаются прежними, поэтому номера позиций основных узлов и деталей на рис. 4 сохранены и совпадают с обозначениями на рис. 3. Отличие предлагаемого варианта машины состоит в том, что статоры двигателей 17 жестко связаны с корпусами соответствующих рабочих барабанов 18, а роторы 19 этих двигателей крепятся к дисковым водилам 15. Опоры качения 20 обеспечивают вращение как рабочих барабанов, так и дисковых водил относительно неподвижного центрирующего вала 13. В соответствии с этим каждый двигатель обеспечивает вращение одного рабочего барабана и одного дискового водила во взаимно противоположных направлениях, то есть двигатель объединяет рабочий барабан и дисковое водило в волочильный блок, в котором рабочий барабан можно условно рассматривать как статорную часть волочильного блока, а водило – как роторную часть.

Многократная волочильная машина, показанная на рис. 3 и 4, работает следующим образом. Проволока, разматываемая, например, с фигурки, поступает через осевое отверстие фланцевого вала 1 (вход на схеме показан стрелкой), проходит последовательно через отклоняющие ролики 2 и 3 и при вращении вала 1 от привода 6 наматывается на неподвижный барабан 14. Смещение витков проволоки вправо по поверхности барабана осуществляется путем обжимания витков в процессе поступления проволоки на барабан. Для облегчения смещения витков проволоки наружная поверхность приемного барабана выполнена слабоконической с уменьшением диаметра в направлении смещения витков. Планетарная передача, включающая шестерни 10, 11, 12, фиксирует положение барабана 14 относительно корпуса 5 волочильной машины. Следовательно, при работе машины барабан 14 и жестко связанный с ним центральный вал 13 остаются неподвижными. Выходя с барабана 14, проволока через направляющий ролик 22, установленный перед входом в волоку первого по ходу движения проволоки дискового водила 15, проходит волоку 16 и через второй ролик 22, установленный с другой стороны того же дискового водила, поступает на первый рабочий барабан 18. На рабочем барабане проволока формирует два-три витка и направляется во вторую волоку 16, установленную во второй вращающейся опоре 15, и так далее до выхода из последней волоки. После этого проволока принимается на удлиненный чистовой барабан 23 для накопления или для передачи на внешнее намоточное устройство.

В первом варианте волочильной машины (рис. 3) рабочие барабаны 18 (включая чистовой 23) и вращающиеся опоры волок 15 снабжены индивидуальными электродвигателями 17 и 19, которые сообщают им вращение в направлениях, показанных стрелками на рис. 5, где представлена схема передачи проволоки с одного рабочего

барабана 18 через направляющие ролики 22 и волоку 16 на следующий по ходу движения проволоки барабан.

При заправке волочильной машины передний конец проволоки закрепляется в чистовом барабане 23 и производится включение всех электродвигателей привода рабочих барабанов, дисковых водил и устройства ввода проволоки.

Для согласованной работы волочильной машины требуется синхронизация скоростей вращения дисковых водил. Скорости промежуточных и чистового барабанов противоположны по направлению скорости вращения дисковых водил и по абсолютной величине определяются режимом обжатия, диаметрами барабанов и величиной скольжения проволоки на поверхности барабанов (если скольжение предусмотрено). Если дисковое водило 15 на диаметре установки волоки D_B имеет

окружную скорость V_B (см. рис. 5), то окружные скорости двух соседних рабочих барабанов V_{6i-1} и

$$V_{6i} \text{ связаны между собой соотношением} \\ V_{6i} = \lambda_i (V_{6i-1} - V_{6i}) + V_{6i}, \quad (2)$$

записанным с учетом знаков скоростей, то есть направление принято за положительное, а скорость V_{6i} всегда отрицательна. Соотношение (2) легко

проверяется: при $V_{6i} = 0$ $V_{6i} =$

$V_{6i-1} \lambda_i$, то есть выполняется условие волочения через неподвижную волоку; при $V_{6i-1} = 0$

$$V_{6i} = -V_{6i} (\lambda_i - 1), \text{ то есть выполняется}$$

условие волочения через подвижную волоку при неподвижной проволочной заготовке.

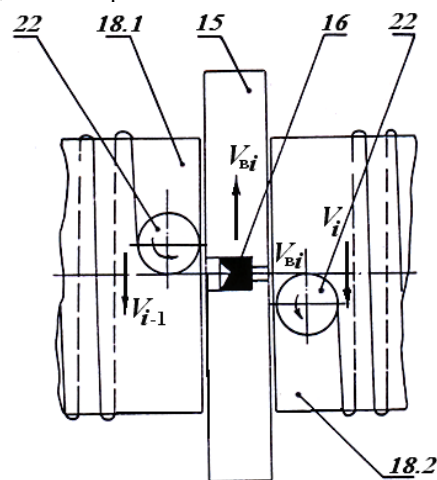


Рис. 5. Схема передачи проволоки с одного волочильного барабана на другой

Скорость волочения в i -м проходе, определяемая как скорость относительно движения

выходящей из очага деформации проволоки и волоки, легко рассчитывается из соотношения $V_i = \lambda_i (V_{6i-1} - V_{vi})$.

При конструировании можно получить различное распределение угловых скоростей рабочих барабанов, если варьировать их диаметры. Например, диаметры барабанов могут быть подобраны таким образом, что угловые скорости всех промежуточных и чистового барабанов будут совпадать; если диаметры соседних рабочих барабанов связаны соотношением $D_i = D_{i-1} \lambda_i$, то все барабаны волочильной машины будут неподвижными.

Конструкции описываемых волочильных машин устраняют затруднения в разработке скоростных намоточных устройств, осуществляющих непрерывный сьем проволоки с чистового барабана 23 (см. рис. 3). В этом случае целесообразно отказаться от установки приемных устройств и, увеличив диаметр чистового барабана

23 в λ_Σ раз по сравнению с диаметром приемного барабана 14, осуществлять сьем проволоки с неподвижного чистового барабана: $D_\Pi = D_0 \lambda_\Sigma$, где D_Π – диаметр последнего чистового барабана; D_0 – диаметр намоточного барабана; λ_Σ – суммарная вытяжка.

В этом случае барабан 23 (рис. 6) жестко крепится на валу 13 и лишается привода. Проволока после чистовой волоки поступает на барабан 23 через отклоняющие ролики 25, 26, установленные на фланце 27, жестко соединенном с дисковым водилом 15.

Устойчивость работы многократной волочильной машины в большой мере зависит от стойкости волок. В работе [3] однозначно показано, что наиболее эффективным средством снижения сил трения на контактной поверхности является противонатяжение. Описанная конструкция волочильной машины позволяет создавать противонатяжение в проволоке во всем диапазоне и поддерживать его постоянным на заданном уровне. Величина противонатяжения, возникающего в процессе волочения, может быть определена из следующих соображений. Рассмотрим кинематическую схему и схему приложения

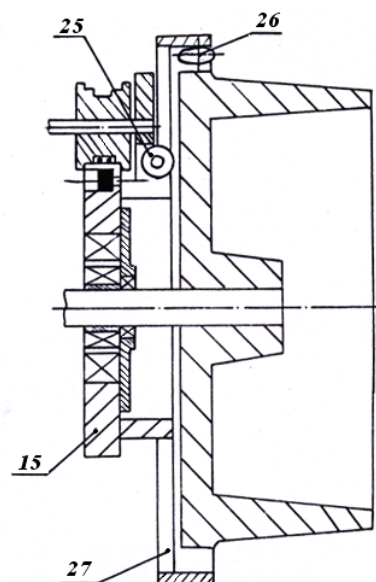


Рис. 6. Конструкция чистового барабана

нагрузок к протягиваемой проволоке при волочении на машине, выполненной, например, по второму варианту (см. рис. 5). Волока 16 установлена на вращающемся дисковом водиле 15 на расстоянии от оси вращения $D_B/2$. Проволока передается с предыдущего барабана 18.1 на последующий 18.2 с помощью направляющих роликов 22. Предполагаем, что волочильный барабан 18.2 закреплен на статорной части двигателя волочильного блока, а дисковое водило 15 – на роторной. В связи с этим крутящие моменты, приложенные к рабочему барабану 18.2 и дисковому водилу 15, равны. Рабочий барабан 18.2, имеющий диаметр D_6 , тянет проволоку с силой

$P_{вн}$, являющейся силой волочения с противонатяжением. Со стороны предыдущего барабана 18.1 к протягиваемой проволоке приложена сила Q , которая по отношению к рассматриваемому проходу является силой противонатяжения. Поскольку направляющие ролики 22 установлены на корпусе дискового водила 15, то они воспринимают усилие, равное $p_{вн} = Q$ и приложенное тангенциально на расстоянии от оси вращения. Таким образом, для системы барабан–водило можно записать

$$p_{вн} \frac{D_6}{2} = (p_{вн} - Q) \frac{D_B}{2}, \quad (3)$$

$$\text{отсюда } Q = p_{вн} \left(1 - \frac{D_6}{D_B} \right).$$

Связь между силой волочения и силой противонатяжения может быть установлена из рассмотрения общих закономерностей процесса волочения. Например, в работе [3] приводится эмпирическая зависимость

$$\frac{p_{\text{BH}}}{\sigma_{s1}} = \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} + \left(1 - \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}}\right) \frac{q_0}{\sigma_{s0}} \frac{\lambda}{k},$$

где p_{B} и p_{BH} – напряжения волочения соответственно без противонатяжения и с противонатяжением;

q_0 – напряжение противонатяжения;

λ – вытяжка в рассматриваемом проходе;

k – коэффициент упрочнения;

$$k = \sigma_{s1} / \sigma_{s0};$$

σ_{s0} и σ_{s1} – предел текучести материала

проволоки соответственно на входе и выходе из волоки.

Эта формула может быть представлена в виде

$$p_{\text{BH}} = p_{\text{B}} + \left(1 - \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{si}}\right) Q, \quad (4)$$

где p_{B} – сила волочения без противонатяжения.

На основании выражений (3) и (4) можно записать

$$Q = \frac{p_{\text{B}} \left(1 - \frac{D_6}{D_{\text{B}}}\right)}{1 - \left(1 - \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}}\right) \left(1 - \frac{D_6}{D_{\text{B}}}\right)}. \quad (5)$$

Здесь отношение $\frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}}$ представляет коэффициент

запаса прочности проволоки при волочении без противонатяжения. Для конкретного случая

отношение $\frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}}$ может быть найдено по формуле

$$\frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} = \frac{1}{k \sqrt{3}} \left[A_1 + (k-1) A_2 + \psi \varepsilon \frac{1+a^2}{a} \right],$$

где $A_1 = 1,7 \varepsilon + 4/3 a$;

$$A_2 = 1,7 (\varepsilon / m + 1) + 2/3 a;$$

$\varepsilon = \ln \lambda$ – степень деформации при волочении;

ψ – показатель трения ($0 \leq \psi \leq 1$);

$$a = \operatorname{tg} \alpha;$$

α – угол наклона образующей рабочего конуса волоки.

Переходя к безразмерному представлению величины противонатяжения, выражение (5) можно преобразовать к виду

$$S_0 = \frac{\frac{k}{\lambda} \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} \left(1 - \frac{D_6}{D_{\text{B}}}\right)}{1 - \left(1 - \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}}\right) \left(1 - \frac{D_6}{D_{\text{B}}}\right)}, \quad (6)$$

где $S_0 = q_0 / \sigma_{s0}$.

Выражая D_6 / D_{B} из формулы (6), можно записать

$$\frac{D_6}{D_{\text{B}}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} \left(\frac{k}{\lambda S_0} - 1 \right)}. \quad (7)$$

С учетом моментов трения в подшипниках барабана и водила при допущении равенства диаметров подшипников и коэффициентов в них формула (6) может быть записана в виде

$$S_0 = \frac{\frac{k}{\lambda} \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} \left(1 - \frac{D_6}{D_{\text{B}}}\right)}{1 + 2\mu \eta \frac{D_6}{D_{\text{B}}} - \left(1 - \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}}\right) \left(1 - \frac{D_6}{D_{\text{B}}}\right)},$$

где μ – коэффициент трения в подшипниках;

$$\eta = d / D_6;$$

d – диаметр подшипников.

Отсюда

$$\frac{D_6}{D_{\text{B}}} = \frac{\frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} \left(\frac{k}{\lambda S_0} - 1 \right)}{1 + 2\mu \eta + \frac{p_{\text{B}}}{\sigma_{s1}} \left(\frac{k}{\lambda S_0} - 1 \right)}. \quad (8)$$

Таким образом, меняя соотношение D_6 / D_{B} , можно устанавливать любое требуемое противонатяжение, которое будет сохраняться постоянно в процессе волочения. Из выражения (6) следует, что при $D_6 = D_{\text{B}}$ противонатяжение становится равным нулю. Поэтому для осуществления волочения с противонатяжением диаметр установки волоки должен быть больше диаметра рабочего барабана.

Волоочильная машина обоих конструктивных вариантов может работать с регулируемым противонатяжением. Для этого достаточно предоставить волоке возможность радиального смещения в корпусе дискового водила. Один из вариантов конструктивного исполнения установки подвижного волокодержателя с волокой в корпусе дискового водила показан на рис. 7. В корпусе дискового водила 15 выполнен радиальный паз 27 с направляющими, в котором устанавливается волокодержатель 16 с волокой с

возможностью перемещения. Радиальное положение волокодержателя 16 фиксируется винтом 28, вращая который можно изменять соотношение D_{δ}/D_v в пределах, определяемых длиной паза 27. При настройке волочильной машины, исходя из требуемой величины противонапряжения S_0 , по формулам (7) и (8) рассчитывается значение D_{δ}/D_v , и оно реализуется в настройке волочильной машины вращением винта 28.

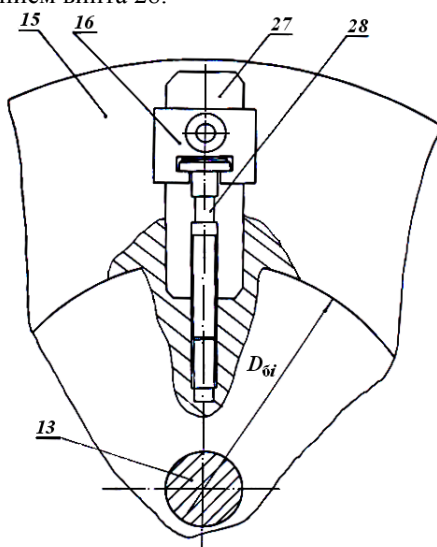


Рис. 7. Конструкция подвижного волокодержателя

Отличительная особенность работы второго варианта волочильной машины состоит в том, что при подаче питания через контактные кольца 24 (см. рис. 3 и 4) электродвигатель приводится в движение, одновременно вращая и дисковое водило 15, и рабочий барабан 18 со скоростями V_{vi} и $V_{\delta i}$ соответственно (см. рис. 5).

Распределение угловых скоростей вращения водила и барабана осуществляется автоматически, поскольку вращением водила волочильный блок задает количество проволоки, снимаемой с предыдущего барабана, а вращением своего барабана – количество проволоки, подвергнутой волочению с учетом вытяжки. После определения требуемых V_{vi} и $V_{\delta i}$, определяющих режим работы i -го волочильного блока, число оборотов статора и ротора определяется выражением

$$n_i = \frac{1}{\pi} \left(\frac{V_{\delta i}}{D_{\delta i}} - \frac{V_{vi}}{D_{vi}} \right),$$

где D_{vi} и $D_{\delta i}$ – диаметры соответственно окружности установки волокна на дисковом водиле и рабочего барабана i -го блока.

Чистовой барабан 23 входит составной частью в последний волочильный блок машины и является условно статорной частью блока. Статор и

ротор каждого двигателя взаимозаменяемы; принцип работы каждого волочильного блока сохраняется, если связать статор с дисковым водилом, а ротор – с рабочим барабаном.

В качестве примера конкретного исполнения волочильной машины описанной конструкции рассмотрена пятикратная машина, реализующая второй вариант (см. рис. 4). Машина осуществляет волочение стальной (Ст0) проволоки с диаметром 2,0 мм до диаметра 1,27 мм. Вытяжки в каждом проходе выбраны одинаковыми и равными $\lambda_i = 1,2$. Диаметры волочильных барабанов имеют диаметры $D_{\delta i} = 300$ мм, а диаметры установки волок в корпусах дисковых водил – $D_{vi} = 400$ мм. Основные конструктивные, кинематические и энергосиловые параметры волочильной машины представлены в таблице. Здесь номера проходов являются одновременно индексами для рассматриваемых величин. Нулевой проход и нулевой индекс соответствуют исходной проволоочной заготовке. В таблице приняты следующие обозначения:

d_i – диаметр проволоки после i -го прохода;

d_0 – диаметр проволоочной заготовки;

λ_i – вытяжка в i -м проходе;

$D_{\delta 0}$ – диаметр приемного барабана 14 (см. рис. 4);

$D_{\delta i}$ – диаметр i -го волочильного барабана;

D_{vi} – диаметр закрепления i -й волокна на дисковом водиле;

τ_{si} – сопротивление деформации сдвига материала проволоки после i -го прохода;

τ_{s0} – сопротивление деформации сдвига материала заготовки;

α_i – угол наклона образующей рабочего конуса волокна, установленной в i -м проходе;

$V_{\delta i}$ – окружная скорость i -го барабана;

V_{vi} – окружная скорость i -й волокна;

$n_{\delta i}$ – угловая скорость i -го барабана;

n_{vi} – угловая скорость i -го дискового водила;

V_i – скорость волочения в i -м проходе;

V_0 – скорость подачи заготовки в волочильную машину;

P_{vi} – напряжение волочения без учета противонапряжения в i -м проходе;

σ_{si} – сопротивление деформации материала проволоки после i -го прохода ($\sigma_{si} = \sqrt{3} \tau_{si}$);

k_i – коэффициент упрочнения проволоки в i -м проходе;
 S_{0i} – относительное противонатяжение в i -м проходе;
 q_{0i} – напряжение противонатяжения в i -м проходе;
 Q_i – сила противонатяжения в i -м проходе;
 F_i – площадь поперечного сечения проволоки после i -го прохода;
 F_0 – площадь поперечного сечения проволочной заготовки;

P_{vi} – сила волочения без противонатяжения в i -м проходе;
 P_{vni} – сила волочения с противонатяжением в i -м проходе;
 $M_{\delta i}$ – крутящий момент на валу электродвигателя i -го барабана;
 N_i – мощность, затрачиваемая на волочение электродвигателем i -го волочильного блока.

Таблица

Кинематические и энергосиловые параметры волочения стальной проволоки на волочильной машине предлагаемой конструкции (второй вариант)

Номер прохода	d_i , мм	λ_i	ε_i	$D_{\delta i}$, мм	$D_{B i}$, мм	τ_{si} , МПа	$\operatorname{tg} \alpha_i$	$V_{\delta i}$, м/с	$V_{B i}$, м/с	$n_{\delta i}$, об/мин	$n_{B i}$, об/мин	
0	2,00	-	-	300	-	110	-	0	-	0	-	
1	1,82	1,2	0,182	300	400	260	0,1	5,0	25,0	239	1592	
2	1,67	1,2	0,182	300	400	300	0,1	11,0	25,0	525	1592	
3	1,52	1,2	0,182	300	400	320	0,1	18,2	25,0	869	1592	
4	1,39	1,2	0,182	300	400	330	0,1	26,8	25,0	1282	1592	
5	1,27	1,2	0,182	300	400	225	0,1	37,2	25,0	1777	1592	
Номер прохода	$P_{B i}$, МПа	$p_{B i} / \sigma_{s i}$	k_i / λ_i	$S_{0 i}$	$q_{0 i}$, МПа	F_i , мм ²	Q_i , Н	$P_{B i}$, Н	$P_{B H i}$, Н	$M_{\delta i}$, Нм	N_i , кВт	V_i , м/с
0	-	-	-	-	-	3,14	-	-	-	-	25,0	-
1	112	0,248	1,55	0,120	29,0	2,00	91,1	291,2	359,7	53,9	19,1	30,0
2	151	0,290	0,96	0,084	37,2	2,19	98,3	330,7	400,5	60,1	24,6	36,0
3	167	0,301	0,89	0,081	42,1	1,81	92,2	302,3	366,7	56,0	26,2	43,2
4	174	0,305	0,86	0,079	43,7	1,52	79,1	264,5	319,5	47,9	26,6	51,8
5	179	0,308	0,84	0,078	44,5	1,27	67,6	227,3	274,1	41,1	26,8	62,2

Эффективность применения предлагаемой конструкции волочильной машины, по сравнению с базовым объектом, в качестве которого выбран прототип, представленный одной из наиболее совершенных высокопроизводительных волочильных машин, состоит в повышении производительности волочильного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 417208 СССР. Способ волочения /Заявит. УПИ им. С.М.Кирова; В.С. Паршин; Заявл. 7.12.71, № 1721944/27-07 //Открытия. Изобретения. 1974. – №4.
2. Перлин И.Л. Теория волочения /И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.
3. Леванов А.Н. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением /А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин – М.: Металлургия, 1976. – 416 с.